

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号
特開2024-166930
(P2024-166930A)

(43)公開日 令和6年11月29日(2024.11.29)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード (参考)
H 0 1 L 27/146 (2006.01)	H 0 1 L 27/146	A 4 M 1 1 8
H 0 1 L 31/107 (2006.01)	H 0 1 L 31/10	B 5 F 1 4 9

審査請求 未請求 請求項の数 22 O L (全26頁)	
(21)出願番号 特願2023-83367(P2023-83367)	(71)出願人 000001007 キャノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22)出願日 令和5年5月19日(2023.5.19)	(74)代理人 100126240 弁理士 阿部 琢磨
	(74)代理人 100223941 弁理士 高橋 佳子
	(74)代理人 100159695 弁理士 中辻 七朗
	(74)代理人 100172476 弁理士 富田 一史
	(74)代理人 100126974 弁理士 大朋 靖尚
	(72)発明者 アブデルガファ アイマン 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キ 最終頁に続く

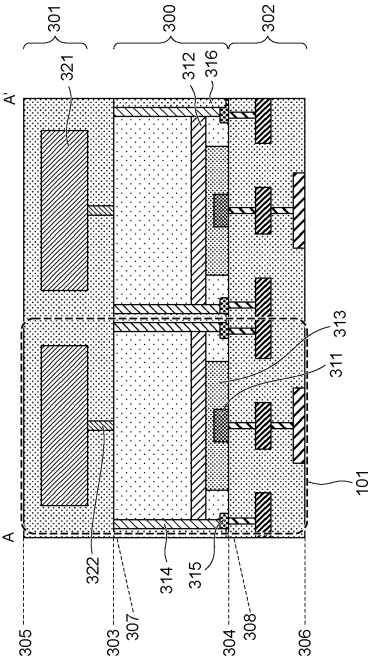
(54)【発明の名称】 光電変換装置、該光電変換装置を用いるシステム

(57)【要約】

【課題】 異種材料接合界面の格子不整合によるノイズの発生

【解決手段】 第1材料で構成され、アバランシェフォトダイオードを有する半導体基板と、前記第1材料よりもバンドギャップが小さい第2材料で構成される光電変換層と、を有し、前記半導体基板と前記光電変換層とに接し、少なくとも前記第1材料または前記第2材料の元素を含む第3材料で構成される領域を有し、上面視において、前記領域の面積は前記光電変換層の面積よりも小さいことを特徴とする光電変換装置。

【選択図】 図7



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 材料で構成され、アバランシェフォトダイオードを有する半導体基板と、
前記第 1 材料よりもバンドギャップが小さい第 2 材料で構成される光電変換層と、を有し、

前記半導体基板と前記光電変換層とに接し、少なくとも前記第 1 材料または前記第 2 材料の元素を含む第 3 材料で構成される領域を有し、

上面視において、前記領域の面積は前記光電変換層の面積よりも小さいことを特徴とする光電変換装置。

【請求項 2】

前記第 3 材料と前記第 1 材料とが同じことを特徴とする請求項 1 に記載の光電変換装置。

【請求項 3】

前記第 3 材料と前記第 2 材料とが同じことを特徴とする請求項 1 に記載の光電変換装置。

【請求項 4】

前記第 1 材料はシリコンであり、前記第 2 材料はゲルマニウムを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の光電変換装置。

【請求項 5】

前記第 2 材料はゲルマニウムであることを特徴とする請求項 4 に記載の光電変換装置。

【請求項 6】

前記第 1 材料はシリコンであり、前記第 2 材料はインジウムガリウムヒ素であることを特徴とする請求項 1 に記載の光電変換装置。

【請求項 7】

上面視において、前記領域は、前記アバランシェフォトダイオードのアバランシェ増倍領域と重なることを特徴とする請求項 1 に記載の光電変換装置。

【請求項 8】

前記アバランシェフォトダイオードは、第 1 導電型の第 1 の半導体領域と、第 2 導電型の第 2 の半導体領域と、を有し、

前記光電変換層は、第 3 の半導体領域を有し、

前記第 1 の半導体領域と、前記第 2 の半導体領域と、前記第 3 の半導体領域と、のそれぞれに電圧が印加されることを特徴とする請求項 1 に記載の光電変換装置。

【請求項 9】

上面視において、前記第 3 の半導体領域に重なって透明電極が配置されることを特徴とする請求項 8 に記載の光電変換装置。

【請求項 10】

前記領域は、前記半導体基板の前記光電変換層に対向する面から前記半導体基板内に延伸されることを特徴とする請求項 1 に記載の光電変換装置。

【請求項 11】

第 1 のアバランシェフォトダイオードと、第 2 のアバランシェフォトダイオードと、を有し、

前記第 1 のアバランシェフォトダイオードと、前記第 2 のアバランシェフォトダイオードと、の間には分離部が設けられ、

前記分離部の直上に、前記第 1 のアバランシェフォトダイオードに電圧を供給するコンタクトが配置されることを特徴とする請求項 1 に記載の光電変換装置。

【請求項 12】

第 1 のアバランシェフォトダイオードと、第 1 の光電変換層と、を有する第 1 の画素と、

第 2 のアバランシェフォトダイオードと、第 2 の光電変換層と、を有する第 2 の画素と、が隣接して設けられ、

10

20

30

40

50

前記第 1 の画素と前記第 2 の画素との間に形成される遮光部は、

前記第 1 の光電変換層の下部に接触し、電位を供給することを特徴とする請求項 1 に記載の光電変換装置。

【請求項 1 3】

第 1 のアバランシェフォトダイオードと、第 1 の光電変換層と、を有する第 1 の画素と

、

第 2 のアバランシェフォトダイオードと、第 2 の光電変換層と、を有する第 2 の画素と

、が隣接して設けられ、

前記第 1 の画素と前記第 2 の画素との間に形成される遮光部は、

前記第 1 の光電変換層の上部に接触し、電位を供給することを特徴とする請求項 1 に記載の光電変換装置。

10

【請求項 1 4】

断面視において、前記半導体基板の厚さは前記光電変換層の厚さよりも小さいことを特徴とする請求項 1 に記載の光電変換装置。

【請求項 1 5】

前記半導体基板と前記領域との接合部以外の場所にピニング膜が形成されることを特徴とする請求項 1 に記載の光電変換装置。

【請求項 1 6】

前記半導体基板の光入射面に散乱回折構造を備えることを特徴とする請求項 1 に記載の光電変換装置。

20

【請求項 1 7】

前記領域に散乱回折構造を備えることを特徴とする請求項 1 に記載の光電変換装置。

【請求項 1 8】

1 つの前記光電変換層に対し、複数の前記領域を有することを特徴とする請求項 1 に記載の光電変換装置。

【請求項 1 9】

前記半導体基板に積層して配線層が設けられ、

前記光電変換層は、前記半導体基板の前記配線層が積層された面の側に形成されることを特徴とする請求項 1 に記載の光電変換装置。

【請求項 2 0】

30

前記半導体基板に積層して配線層が設けられ、

前記光電変換層は、前記半導体基板の前記配線層が積層された面に対向する面の側に形成されることを特徴とする請求項 1 に記載の光電変換装置。

【請求項 2 1】

請求項 1 乃至請求項 2 0 のいずれか 1 項に記載の光電変換装置と、

前記光電変換装置が出力する信号を用いて画像を生成する信号処理部と、を有することを特徴とする光電変換システム。

【請求項 2 2】

請求項 1 乃至請求項 2 0 のいずれか 1 項に記載の光電変換装置を含む移動体であって、

前記光電変換装置が出力する信号を用いて前記移動体の移動を制御する制御部を有することを特徴とする移動体。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光電変換装置およびシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 に開示されるように、Si で形成されるアバランシェフォトダイオードの直上に Ge 吸収層を配置し、吸収層内で光子を光電変換させることで、近赤外感度を向上させる方法が開示されている。

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特表2022-500882号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

格子定数の異なる材料の接合界面において、格子不整合によりノイズが増加する可能性があった。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の一つの側面は、光電変換装置であって、第1材料で構成され、アバランシェフォトダイオードを有する半導体基板と、前記第1材料よりもバンドギャップが小さい第2材料で構成される光電変換層と、を有し、前記半導体基板と前記光電変換層とに接し、少なくとも前記第1材料または前記第2材料の元素を含む第3材料で構成される領域を有し、上面視において、前記領域の面積は前記光電変換層の面積よりも小さい。

【発明の効果】

【0006】

本発明によれば、異種材料の接合界面におけるノイズを抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】実施形態にかかる光電変換装置の概略図である。

【図2】実施形態にかかる光電変換装置のPD基板の概略図である。

【図3】実施形態にかかる光電変換装置の回路基板の概略図である。

【図4】実施形態にかかる光電変換装置の画素回路の構成例である。

【図5】実施形態にかかる光電変換装置の画素回路の駆動を示す模式図である。

【図6】第1実施形態にかかる画素の平面図である。

【図7】第1実施形態にかかる画素の断面図である。

【図8】第2実施形態にかかる画素の断面図である。

【図9】第3実施形態にかかる画素の断面図である。

【図10】第4実施形態にかかる画素の断面図である。

【図11】第5実施形態にかかる画素の断面図である。

【図12】第6実施形態にかかる画素の断面図である。

【図13】第7実施形態にかかる画素の断面図である。

【図14】第7実施形態にかかる画素の平面図である。

【図15】第8実施形態にかかる画素の断面図である。

【図16】第9の実施形態にかかる光電変換システムの機能ブロック図である。

【図17】第10の実施形態にかかる光電変換システムの機能ブロック図である。

【図18】第11の実施形態にかかる光電変換システムの機能ブロック図である。

【図19】第12の実施形態にかかる光電変換システムの機能ブロック図である。

【図20】第13の実施形態にかかる光電変換システムの機能ブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

図1は、本発明の実施形態に係る積層型の光電変換装置の構成を示す図である。光電変換装置100は、センサチップ11と、回路チップ21の2枚のチップが積層され、且つ電氣的に接続されることにより構成される。

【0009】

センサチップ11には、画素領域12が配され、回路チップ21には、画素領域12で検出された信号を処理する回路領域22が配される。

【0010】

10

20

30

40

50

図 2 は、センサチップ 11 の配置図である。アバランシェフォトダイオード（以下、APD）を含む光電変換部 102 を有する画素 101 が二次元状に配列され、画素領域 12 を形成する。画素 101 は、典型的には、画像を形成するための画素であるが、TOF（Time of Flight）に用いる場合には、必ずしも画像を形成しなくてもよい。すなわち、画素 101 は、光が到達した時刻と光量を測定するための画素であってもよい。

【0011】

図 3 は、回路チップ 21 の構成図である。図 2 の光電変換部 102 で光電変換された電荷を処理する信号処理部 103、読み出し回路 112、制御パルス生成部 115、水平走査回路部 111、信号線 113、垂直走査回路部 110 を有している。

10

【0012】

図 2 の光電変換層 102 と、図 3 の信号処理部 103 は、画素毎に設けられた接続配線を介して電気的に接続される。

【0013】

垂直走査回路部 110 は、制御パルス生成部 115 から供給された制御パルスを受け、各画素に制御パルスを供給する。垂直走査回路部 110 にはシフトレジスタやアドレスデコーダといった論理回路が用いられる。

【0014】

各画素の光電変換部 102 から出力された信号は、信号処理部 103 で処理される。信号処理部 103 は、カウンタやメモリなどが設けられており、メモリにはデジタル値が保持される。水平走査回路部 111 は、デジタル信号が保持された各画素のメモリから信号を読み出すために、各列を順次選択する制御パルスを信号処理部 103 に入力する。信号線 113 には、選択されている列について、垂直走査回路部 110 により選択された画素の信号処理部 103 から信号が出力される。

20

【0015】

信号線 113 に出力された信号は、出力回路 114 を介して、光電変換装置 100 の外部の記録部または信号処理部に出力する。

【0016】

図 2 において、画素領域 12 における画素 101 の配列は 1 次元状に配されていてもよい。信号処理部 103 の機能は、必ずしも全ての画素 101 に 1 つずつ設けられる必要はなく、例えば、複数の画素 101 によって 1 つの信号処理部 103 が共有され、順次信号処理が行われてもよい。

30

【0017】

図 4 は、図 2 及び図 3 の等価回路を含むブロック図の一例である。図 2 において、APD 201 を有する光電変換部 102 は、センサチップ 11 に設けられており、その他の部材は、回路チップ 21 に設けられている。APD 201 は、光電変換により入射光に応じた電荷対を生成する。APD 201 のアノードには、電圧 V_L （第 1 電圧）が供給される。また、APD 201 のカソードには、アノードに供給される電圧 V_L よりも高い電圧 V_H （第 2 電圧）が供給される。アノードとカソードには、APD 201 がアバランシェ増倍動作をするような逆バイアス電圧が供給される。このような電圧を供給した状態とすることで、入射光によって生じた電荷がアバランシェ増倍を起こし、アバランシェ電流が発生する。

40

【0018】

なお、逆バイアスの電圧が供給される場合において、アノードおよびカソードの電位差が降伏電圧より大きな電位差で動作させるガイガーモードと、アノードおよびカソードの電位差が降伏電圧近傍、もしくはそれ以下の電位差で動作させるリニアモードがある。ガイガーモードで動作させる APD を SPAD と呼ぶ。例えば、電圧 V_L （第 1 電圧）は、 -30V 、電圧 V_H （第 2 電圧）は、 1V である。

【0019】

クエンチ素子 202 は、電圧 V_H を供給する電源と APD 201 に接続される。クエン

50

チ素子 202 は、APD 201 で生じたアバランシェ電流の変化を電圧信号に置き換える機能を有する。クエンチ素子 202 は、アバランシェ増倍による信号増倍時に負荷回路（クエンチ回路）として機能し、APD 201 に供給する電圧を抑制して、アバランシェ増倍を抑制する働きを持つ（クエンチ動作）。

【0020】

信号処理部 103 は、波形整形部 210、カウンタ回路 211、選択回路 212 を有する。本明細書において、信号処理部 103 は、波形整形部 210、カウンタ回路 211、選択回路 212 のいずれかを有していればよい。

【0021】

波形整形部 210 は、光子検出時に得られる APD 201 のカソードの電位変化を整形して、パルス信号を出力する。波形整形部 210 としては、例えば、インバータ回路が用いられる。図 4 では、波形整形部 210 としてインバータを一つ用いた例を示したが、複数のインバータを直列接続した回路を用いてもよいし、波形整形効果があるその他の回路を用いてもよい。

【0022】

カウンタ回路 211 は、波形整形部 210 から出力されたパルス信号をカウントおよびカウント値を保持する。また、駆動線 213 を介して制御パルス pRES が供給されたとき、カウンタ回路 211 に保持された信号がリセットされる。

【0023】

選択回路 212 には、図 1 の垂直走査回路部 110 から、図 4 の駆動線 214（図 3 では不図示）を介して制御パルス pSEL が供給され、カウンタ回路 211 と信号線 113 との電気的な接続、非接続を切り替える。選択回路 212 には、例えば、信号を出力するためのバッファ回路などを含む。

【0024】

クエンチ素子 202 と APD 201 との間や、光電変換層 102 と信号処理部 103 との間にトランジスタ等のスイッチを配して、電気的な接続を切り替えてもよい。同様に、光電変換層 102 に供給される電圧 VH または電圧 VL の供給をトランジスタ等のスイッチを用いて電気的に切り替えてもよい。

【0025】

本実施形態では、カウンタ回路 211 を用いる構成を示した。しかし、カウンタ回路 211 の代わりに、時間・デジタル変換回路（Time to Digital Converter：以下、TDC）、メモリを用いて、パルス検出タイミングを取得する光電変換装置 100 としてもよい。このとき、波形整形部 210 から出力されたパルス信号の発生タイミングは、TDC によってデジタル信号に変換される。TDC には、パルス信号のタイミングの測定に、図 1 の垂直走査回路部 110 から駆動線を介して、制御パルス pREF（参照信号）が供給される。TDC は、制御パルス pREF を基準として、波形整形部 210 を介して各画素から出力された信号の入力タイミングを相対的な時間としたときの信号をデジタル信号として取得する。

【0026】

図 5 は、APD の動作と出力信号との関係を模式的に示した図である。図 5（a）は、図 2 の APD 201、クエンチ素子 202、波形整形部 210 を抜粋した図である。ここで、波形整形部 210 の入力側を node A、出力側を node B とする。図 5（b）は、図 5（a）の node A の波形変化を、図 5（c）は、図 5（a）の node B の波形変化をそれぞれ示す。

【0027】

時刻 t0 から t1 の間において、図 5（a）の APD 201 には、VH - VL の電位差が印加されている。

【0028】

時刻 t1 においてフォトンが入射すると、クエンチ素子 202 にアバランシェ増倍電流が流れ、node A の電圧は降下する。電圧降下量がさらに大きくなり、APD 201 に

10

20

30

40

50

印加される電位差が小さくなると、APD 201のアバランシェ増倍が停止し、node Aの電圧レベルはある一定値以上低下しなくなる。その後、node Aには電圧V_Hから電圧降下分を補う電流が流れ、時刻t₃においてnode Aは元の電位レベルに静定する。

【0029】

このとき、node Aにおいて出力波形がある閾値を越えた部分は、波形整形部210で波形整形され、node Bで信号として出力される。

【0030】

(第1の実施形態)

図6および図7を用いて第1の実施形に係る光電変換装置について説明する。

10

【0031】

図6は第1の実施形態にかかる光電変換装置の2画素分の平面図である。図7は図6のA-A'断面における光電変換装置の2画素分の断面図である。図7の各半導体領域、及び構造に付与する番号は図6の番号と一致する。なお、説明の都合上、図6の平面図には、各部の位置関係を示すため各部を透視した部分も示している。

【0032】

図6、図7の点線で囲まれた領域を画素101とする。図6に示すように、画素101のそれぞれは分離トレンチ316によって隣接画素から電氣的に分離される。各画素の対角位置には第5半導体領域315が設けられ、分離トレンチ316の内側には第4半導体領域314が配される。半導体基板内には同心円状に第1半導体領域311、第2半導体領域312、第3半導体領域313が設けられる。半導体基板の光入射面側には、第1半導体領域311と同心円状に、円柱形状の柱状構造322が配されている。

20

【0033】

図7に示すように、画素101は断面視で半導体基板300、光電変換層301、配線層302が積層された構造を有する。半導体基板300は第1材料で構成され、第1面303と第2面304とを有し、第1面303が光電変換層301の第7面307と向かい合うように光電変換層301と積層される。光電変換層301は第7面307に対向する第3面305を有する。さらに、半導体基板300は第2面304が配線層302の第8面308と向かい合うように配線層302と積層され、配線層302は第8面308に対向する第4面306を有する。本実施形態において、第3面305が光入射面となる。

30

【0034】

半導体基板300は第1材料で構成され、第2面304側に第1導電型の第1半導体領域311、第1半導体領域311よりも第1面303側に第2導電型の第2半導体領域312が設けられる。第1半導体領域311の周りには第1導電型の第3半導体領域313が設けられ、半導体基板300はさらに第2導電型の第4半導体領域314、第2導電型の第5半導体領域315を有する。画素101同士の間には分離トレンチ316が設けられる。

【0035】

第1導電型の第1半導体領域311には電圧V_H(第1電圧)が印加される。一方で、第2導電型の第5半導体領域315には電圧V_L(第2電圧)が供給され、第2導電型の第4半導体領域314を通じて、第2導電型の第2半導体領域312にも電圧V_Lが印加される。第1導電型の第1半導体領域311と第2導電型の第2半導体領域312が近接する領域にはアバランシェ増倍領域が形成される。

40

【0036】

このような電圧を供給することで、入射光によって生ずる電荷がアバランシェ領域を通過する際にアバランシェ増倍を起こし、アバランシェ電流が発生する。第2導電型の第4半導体領域314は、隣接画素間の分離領域の役割を有する。

【0037】

半導体基板300と配線層302の接触抵抗を低減させるために、画素101対角部の、半導体基板300の第2面304側には第2導電型の第5半導体領域315が配置され

50

る。このとき、第5半導体領域315の第2導電型の不純物濃度は、第4半導体領域314の第2導電型の不純物濃度よりも高い。分離トレンチ316の側壁部は第4半導体領域314に覆われており、分離トレンチ316により画素内の光が隣接画素へクロストークすることを防ぐ。また、第1導電型の第3半導体領域313は、第1導電型の第1半導体領域311の角部を覆うように配置され、第1導電型の第1半導体領域311と第2導電型の第5半導体領域315の間で、局所的な高電界領域が形成されることを抑制する。

【0038】

光電変換層301は第2材料で構成され、光電変換領域321を有する。第2材料は第1材料よりもバンドギャップが小さく、第1材料よりも近赤外波長帯の量子効率が高い材料である。一般に、半導体ではバンドギャップエネルギーを超えるエネルギーを有する光を光電変換することができる。第2材料のバンドギャップは第1材料のバンドギャップよりも小さいため、光電変換に要するエネルギーも小さい。つまり、第2材料では、第1材料で光電変換可能な光よりも長波長の光をも光電変換することができる。第1材料は例えばSiであり、第2材料は例えばGeである。Geは真性半導体として用いてもよく、リン(P)、ヒ素(As)、アンチモン(Sb)、ボロン(B)、アルミニウム(Al)、ガリウム(Ga)などの不純物をドーブした不純物半導体であってもよい。また、第2材料はGeに限られず、例えばInGaAs(インジウムガリウムヒ素)やGeSn(ゲルマニウムすず)などであってもよい。本実施形態では、第1半導体領域311と第2半導体領域312とのPN接合によって形成されるダイオードと、光電変換領域321とを合わせて一つのAPDとして説明する。

【0039】

光電変換領域321には所定の電圧が印加される。光電変換領域321に印加される電圧についての詳細は後述する。

【0040】

半導体基板300と光電変換層301の間には第3材料の柱状構造322が配置される。

【0041】

半導体基板300を構成する第1材料と光電変換領域321を構成する第2材料とはそれぞれ原子の格子間距離が異なるため、半導体基板300と光電変換領域321とを接合する場合、接合界面における格子不整合によるミスフィット転位が生じるおそれがある。生じたミスフィット転位がリーク電流発生源になるなどしてノイズが悪化する懸念がある。

【0042】

本実施形態では、第1材料の半導体基板300と第2材料の光電変換領域321との間に光電変換領域321よりも面積が小さい第3材料の柱状構造322を配置する。これにより、半導体基板300と光電変換領域321とを直接接合させる場合と比較して異なる材料の部材の接合面積が小さくなり、接合界面における格子不整合の影響が抑制される。断面視において、柱状構造322は1画素につき1本配置され、柱状構造322の幅は光電変換領域321の幅よりも狭い。第3材料は少なくとも第1材料または第2材料を含む。柱状構造322を構成する材料は、第1材料または第2材料のいずれの材料であっても光子不整合の影響を抑制する効果が得られるが、その接合面積は可能な限り小さいほうが望ましい。特に、第1材料の半導体基板300との接合界面から発生する転移欠陥を柱状構造322の領域内で終端できるため、柱状構造322には第2材料を用いることがより好ましい。一方で、柱状構造322が第1材料のみで構成された場合でも、界面の接合面積を光電変換領域321の面積よりも小さくすることでノイズ発生を抑制する効果が得られる。

【0043】

柱状構造322は上面視で見てアバランシェ増倍領域と重なって配置されていなくてもよい。また、図7には示していないが、柱状構造322とは別に、光電変換領域321と第2導電型の第4半導体領域314との間にはホール電荷を引きぬくためのヘテロ接合部

を有する。第2導電型の第4半導体領域314を介して光電変換領域321にアノード電圧 V_L が供給され、電荷が誘導される。前記ヘテロ接合はその接合面積を減らすために柱状構造を有してもよいし、光電変換領域321の第3面305側に配線を有してもよい。

【0044】

(第2の実施形態)

図8を用いて第2の実施形態に係る光電変換装置について説明する。第1実施形態と共通する説明は省略し、主に第1実施形態との差分について説明する。

【0045】

図8は第2の実施形態にかかる光電変換装置の画素の断面図である。図8では、光電変換領域321の第3面305側に第2材料の第6半導体領域323が配置され、アノードコンタクト324、金属配線325を介して第6半導体領域323にアノード電圧が供給される。各画素はマイクロレンズ330を有する。図6と同様に、光電変換領域321は半導体基板300上に上面視で四角形に配置され、4隅にはアノードコンタクト324が配置される。また、第3材料の柱状構造322は少なくとも第2材料を含む。

【0046】

本実施形態に示す構成は、第1実施形態に示す構成と比較して、光電変換領域321の第3面305側に金属配線325が設けられ、アノードコンタクト324を介して、光電変換領域321に電圧 V_L2 （第3電圧）が印加される点が異なる。このとき、光電変換領域321で光電変換によって発生した電荷は第3材料の柱状構造322を通り半導体基板300へ移動する。金属配線325は、第3面305側で画素101同士の間を覆うメッシュ状の配線であり、光電変換領域321以外の領域に光が入射することを防ぎ、画素間の光学クロストーク発生を防止することができる。図8に示す金属配線325は各画素101のそれぞれを囲むように金属配線325が延びる構成を想定しているが、複数の画素101（例えば4画素）を囲むように金属配線325が設けられていてもよい。

【0047】

ここで、金属配線325を介して光電変換領域321に供給される電圧 V_L2 は第5半導体領域315及び第2半導体領域312に印加されるアノード電圧 V_L と同等であってもよく、アノード電圧 V_L よりも低い電圧であってもよい。光電変換領域で生じた電荷の転送のため、第2半導体材料の光電変換領域321から第1半導体領域311に向かってポテンシャル勾配ができていることが好ましい。

【0048】

また、図8に示す光電変換装置はピニング膜320とマイクロレンズ330を有する点で第1の実施形態と異なる。第1面303に配置されるピニング膜320によって、接合界面から発生するノイズを抑制することができる。さらに、第3面305にマイクロレンズを配置することで光を光電変換領域321に収集し、感度を向上することができる。図9では各画素の中央にマイクロレンズ330を設けているが、マイクロレンズの配置はこれに限られず、画素アレイ内の各画素の相対位置に応じてマイクロレンズ中心と画素中心とをずらしてもよい。

【0049】

(第3の実施形態)

図9を用いて第3の実施形態にかかる光電変換装置について説明する。第1、第2の実施形態にかかる光電変換装置と共通する説明は省略し、主に第2の実施形態にかかる光電変換装置との差分について説明する。

【0050】

図9は、第3の実施形態にかかる光電変換装置の画素断面図である。図9は図8に対して、光電変換領域321の第3面305側に透明電極326が配置される点及び半導体基板300が電荷収集領域317を有する点で異なる。さらに、第3材料の柱状構造322が第1面303から半導体基板300内まで延伸している点で図8の構成と異なる。

【0051】

図8に示す構成では、半導体基板の光入射面側に金属配線325を設けているため、半

10

20

30

40

50

導体基板に向かう光の一部が金属配線 3 2 5 によって遮られる可能性がある。本実施形態にかかる構成では、光電変換領域 3 2 1 の第 3 面 3 0 5 側に、金属配線 3 2 5 に代わり透明電極 3 2 6 を設け、透明電極 3 2 6 を介して光電変換領域 3 2 1 に電圧 V_L2 を印加している。透明電極 3 2 6 を用いることで、光電変換領域 3 2 1 の直上から垂直に光電変換領域 3 2 1 に入射する成分だけでなく、半導体基板 3 0 0 に斜めに入射する光も光電変換できる。つまり、光に対する感度を向上させる効果が得られる。このとき、近赤外感度の低下を防ぐため、透明電極 3 2 6 を構成する材料は可能な限り近赤外光を吸収しない材料が望ましい。

【0052】

透明電極 3 2 6 は金属配線 3 2 5 と異なり光を透過するため、画素 1 0 1 の外縁部のみならず光電変換領域 3 2 1 の全面に重なるように設けてもよい。透明電極 3 2 6 と光電変換領域 3 2 1 の接合面積を増やすことで接触抵抗を下げることができ、光電変換領域 3 2 1 で光電変換された電荷に十分な電圧がかかるため、光電変換装置の光に対する応答速度の向上が期待できる。

【0053】

また、本実施形態にかかる光電変換装置は半導体基板 3 0 0 が電荷収集領域 3 1 7 を有する。電荷収集領域 3 1 7 は第 1 導電型の不純物濃度が第 1 半導体領域 3 1 1 よりも低い半導体領域である。半導体基板 3 0 0 の光入射面側と第 2 半導体領域 3 1 2 との間に電荷収集領域 3 1 7 を設けることにより、半導体基板 3 0 0 の光入射面からアバランシェ領域までのポテンシャル勾配を形成することができ、電荷の転送を促進する効果が得られる。

【0054】

さらに、本実施形態にかかる光電変換装置では第 3 材料の柱状構造 3 2 2 が第 1 面 3 0 3 から半導体基板 3 0 0 内まで延伸している。柱状構造 3 2 2 を構成する第 3 材料は第 1 材料よりも信号電荷の移動度が高いため、光電変換された電荷は柱状構造 3 2 2 を移動する。柱状構造 3 2 2 を移動した電荷は第 1 材料中を移動した電荷よりも早くアバランシェ増倍領域に到達しうる。その結果、電荷が信号として検出されるまでの応答速度を改善することができる。

【0055】

(第 4 の実施形態)

図 10 を用いて第 4 の実施形態にかかる光電変換装置について説明する。第 1 ～ 第 3 の実施形態にかかる光電変換装置と共通する説明は省略し、主に第 1 の実施形態にかかる光電変換装置との差分について説明する。

【0056】

図 10 は、第 4 の実施形態にかかる光電変換装置の 2 画素分の断面図である。図 8 に対して、第 2 材料の光電変換領域 3 2 1 が画素ごとに分離されて設けられず、複数の画素に共通の光電変換領域 3 2 1 が配置される点で異なっている。たとえば 4 画素毎など所定の画素毎に分離された光電変換領域 3 2 1 が配されていてもよく、画素領域 1 2 全面にわたって 1 つの光電変換領域 3 2 1 が配されてもよい。光電変換領域 3 2 1 の面積を広げることに入射光に対する感度を向上させることができる。また、本実施形態に係る光電変換装置では第 3 の実施形態と同様に半導体基板 3 0 0 が電荷収集領域 3 1 7 を有する。

【0057】

一方で、光電変換領域 3 2 1 で光電変換された電荷は柱状構造 3 2 2 を介して半導体基板 3 0 0 内へ移動させる必要がある。第 2 の実施形態と同様に柱状構造 3 2 2 に対して周囲から均一に電位を供給するために、図 10 では光電変換層 3 0 1 の第 3 面 3 0 5 側において、画素 1 0 1 同士の境界部にアノードコンタクト 3 2 4 が配置される。画素境界部とは断面視において、分離トレンチ 3 1 6 を延伸した位置である。アノードコンタクト 3 2 4 を介して、金属配線 3 2 5 から光電変換領域 3 2 1 にアノード電圧 V_L2 が印加される。これにより、光電変換領域 3 2 1 で光電変換された電荷に対して均一に横方向の電界がかかり、電界の偏りによる電荷転送時間のばらつきを防ぐことができる。また、電荷に対してアバランシェ増倍領域へ誘導するための電圧が十分にかかるため、第 2 の実施形態と

同等に電荷が信号として検出されるまでの応答速度を維持することができる。

【0058】

(第5の実施形態)

図11を用いて第5の実施形態にかかる光電変換装置について説明する。第1～第4の実施形態にかかる光電変換装置と共通する説明は省略し、主に第1の実施形態にかかる光電変換装置との差分について説明する。

【0059】

図11は、第5の実施形態にかかる光電変換装置の2画素分の断面図である。図11に示す光電変換装置では画素101同士を分離する分離トレンチ316の中に金属材料が埋め込まれている。分離トレンチ316が半導体基板300を貫通し、中に埋め込まれた金属材料が第6半導体領域323を介して光電変換領域321の第1面303側と接合している。光電変換領域321にはアノード電圧 V_L が印加される。

10

【0060】

画素境界に配置される分離トレンチ316の中に金属材料を埋め込むことで、入射光、あるいはアバランシェ増倍領域で電子とホールが再結合することで生じるアバランシェ発光が、隣接画素の光電変換層301へ入射するクロストークを防止できる。さらに、分離トレンチ316に埋め込まれている金属部材と第6半導体領域との接合面積を増やすことで、該金属部材は第3面305から入射する光に対して反射板の役割を果たす。その結果、光電変換層301の不感領域でとなる画素101の境界部に入射した光も反射により光電変換領域321に入射され、光電変換が可能になるため、画素当たりの格子の検出確率(PDE)を向上させることができる。

20

【0061】

さらに、図11に示す光電変換装置はアバランシェ増倍領域を形成する第1半導体領域311および第2半導体領域312の面積が図7の構成と比べて広い。これにより、半導体基板300中で光電変換された電荷がアバランシェ増倍領域へ到達し信号として検出されるまでの応答速度および時間ばらつきを改善することができる。

【0062】

(第6の実施形態)

図12を用いて第6の実施形態にかかる光電変換装置について説明する。第1～第5の実施形態にかかる光電変換装置と共通する説明は省略し、主に第4の実施形態にかかる光電変換装置との差分について説明する。

30

【0063】

図12は第6の実施形態にかかる光電変換装置の2画素分の断面図である。分離トレンチ316に埋め込まれた金属材料が第6半導体領域323を介して光電変換領域321の第3面305側に接合され、光電変換領域321にアノード電位 V_L を供給している。第3面305から光電変換領域321に光が入射する際、金属材料が遮光膜として機能することで光電変換領域321以外の領域への光の入射を防ぎ、光学クロストークの発生を防止する。

【0064】

また、図12に示す光電変換装置は、半導体基板300内に電荷収集領域317を有する。アバランシェダイオードの構成はこれに限られるものではなく、例えば図13に示すように広いアバランシェ増倍領域を有する構成としてもよい。

40

【0065】

さらに、光電変換層301の第3面305側に第1散乱回折構造327を有する。第1散乱回折構造327は例えば格子状に形成されたトレンチである。光電変換領域321に入射する光は第1散乱回折構造327によって回折され、散乱する。それにより、光の伝搬距離が増加し、量子効率を向上させることができる。また、光電変換層301は、画素ごとに分離トレンチ316から延伸された金属材料で囲まれるため、第1散乱回折構造327によって散乱した光は金属材料によって反射され、光電変換領域321を複数回伝搬される。すなわち、量子効率のさらなる向上が期待できる。分離トレンチ316は、アバ

50

ランシェ増倍領域で電子とホールが再結合することにより生じるアバランシェ発光の隣接画素へのクロストークも防止する。

【0066】

(第7の実施形態)

図13、図14を用いて第7の実施形態にかかる光電変換装置について説明する。第1～第6の実施形態にかかる光電変換装置と共通する説明は省略し、主に第6の実施形態にかかる光電変換装置との差分について説明する。

【0067】

図13は第7の実施形態にかかる光電変換装置の2画素分の平面図であり、図14は図13のA-A'断面における断面図である。本実施形態に係る光電変換装置は、1画素101当たり複数の柱状構造322を有する。光電変換領域321で光電変換された電荷は、光電変換の発生した位置に近い柱状構造322を介してアバランシェ増倍領域に到達し、アバランシェ増倍される。そのため、入射光に対する応答速度が向上し、生成された電荷が信号として検出されるまでの時間ばらつきを改善することができる。

【0068】

また、本実施形態に係る光電変換装置は、図12に示す光電変換装置と同様に、光電変換層301の第3面305側に設けられた第1散乱回折構造327に加え、半導体基板300の第1面303に第2散乱回折構造328を有する。第2散乱回折構造328は例えば図13に示すように格子状に形成されたトレンチ構造である。第2散乱回折構造328は、断面視において、あるいは平面視において、柱状構造322のそれぞれとは垂直線上に重ならない。第3面305から入射した光のうち、第1散乱回折構造327で回折されず、光電変換領域321で光電変換されずに直進して半導体基板300に到達した入射光を第2散乱回折構造328で回折させ、半導体基板300中で光電変換させうる。したがって、第2散乱回折構造328を設けることにより量子効率を向上することができる。

【0069】

(第8の実施形態)

図15を用いて第8の実施形態にかかる光電変換装置について説明する。第1～第7の実施形態にかかる光電変換装置と共通する説明は省略し、主に第1の実施形態にかかる光電変換装置との差分について説明する。

【0070】

図15は第8の実施形態の画素断面図である。図15は図8に対して、光電変換領域321を含む光電変換層301が半導体基板300の第1面303に対向する面の側に形成される点異なる。

【0071】

図15に示す光電変換装置は、断面視で半導体基板300と、光電変換層301を含む配線層302とが積層された構造を有する。半導体基板300は第1材料で構成され、第1面303と第2面304とを有する。第1面303上にはピニング膜320、平坦化膜329が形成され、光入射面である第3面305をなす。半導体基板300の第2面304は配線層302の第7面307と向かい合うように積層される。配線層302は第7面307に対向する第4面306を有する。配線層302中に、第2材料で構成され、第8面308と第9面309とを有する光電変換領域321が設けられている。光電変換領域321は、第8面308から第9面309まで貫通する貫通孔を有し、貫通孔内を貫通する貫通電極と、貫通孔内を覆う絶縁膜が設けられている。また、光電変換領域321の第9面309には第2材料の第6半導体領域323が設けられている。

【0072】

半導体基板300中の第2面304側には第1導電型の第1半導体領域311が設けられ、第1半導体領域311よりも第1面303側に第1導電型の第3半導体領域313と、第2導電型の第2半導体領域312が設けられる。第3半導体領域313の第1導電型の不純物濃度は第1半導体領域311の第1導電型の不純物濃度よりも低い。半導体基板300はさらに第2導電型の第4半導体領域314、第2導電型の第5半導体領域315

を有し、第2半導体領域312は第4半導体領域314と接触している。また、半導体基板300は電荷収集領域317、第2散乱回折構造328を有する。各部材の機能は、各実施形態の説明における同一名称の部材と共通している。

【0073】

第1導電型の第1半導体領域311には電圧V_H（第1電圧）が印加される。一方で、第2導電型の第5半導体領域315には電圧V_L（第2電圧）が供給され、第2導電型の第4半導体領域314を通じて、第2導電型の第2半導体領域312にも電圧V_Lが印加される。第1導電型の第1半導体領域311と第2導電型の第2半導体領域312が近接する領域にはアバランシェ増倍領域が形成される。

【0074】

本実施形態に係る光電変換装置において、第3面305から入射した光は半導体基板300の第1面303に設けられた第2散乱回折構造328で回折され、その一部は半導体基板300中で光電変換される。入射した光のうち、近赤外波長帯の成分は配線層302中まで伝搬し、光電変換領域321で光電変換される。光電変換領域321で光電変換された電荷は柱状構造322を介して半導体基板300へ移動し、電荷収集領域317に収集され、アバランシェ増倍領域で増倍されて信号としてカウントされる。

【0075】

本実施形態に係る光電変換装置では、配線層302を形成する前に光電変換層301を形成できる。配線層302を形成する前に光電変換層301に対して高温でのアニールを行うことで、光電変換層301の欠陥の回復を促進し、ノイズを低減することができる。

【0076】

（第9の実施形態）

本実施形態による光電変換システムについて、図16を用いて説明する。図16は、本実施形態による光電変換システムの概略構成を示すブロック図である。

【0077】

上記第1～第8実施形態で述べた光電変換装置は、種々の光電変換システムに適用可能である。適用可能な光電変換システムの例としては、デジタルスチルカメラ、デジタルカムコーダ、監視カメラ、複写機、ファックス、携帯電話、車載カメラ、観測衛星などが挙げられる。また、レンズなどの光学系と撮像装置とを備えるカメラモジュールも、光電変換システムに含まれる。図16には、これらのうちの一例として、デジタルスチルカメラのブロック図を例示している。

【0078】

図16に例示した光電変換システムは、光電変換装置の一例である撮像装置1004、被写体の光学像を撮像装置1004に結像させるレンズ1002を備える。さらに、レンズ1002を通過する光量を可変にするための絞り1003、レンズ1002の保護のためのバリア1001を有する。レンズ1002及び絞り1003は、撮像装置1004に光を集光する光学系である。撮像装置1004は、上記のいずれかの実施形態の光電変換装置であって、レンズ1002により結像された光学像を電気信号に変換する。

【0079】

光電変換システムは、また、撮像装置1004より出力される出力信号の処理を行うことで画像を生成する画像生成部である信号処理部1007を有する。信号処理部1007は、必要に応じて各種の補正、圧縮を行って画像データを出力する動作を行う。信号処理部1007は、撮像装置1004が設けられた半導体基板に形成されていてもよいし、撮像装置1004とは別の半導体基板に形成されていてもよい。

【0080】

光電変換システムは、更に、画像データを一時的に記憶するためのメモリ部1010、外部コンピュータ等と通信するための外部インターフェース部（外部I/F部）1013を有する。更に光電変換システムは、撮像データの記録又は読み出しを行うための半導体メモリ等の記録媒体1012、記録媒体1012に記録又は読み出しを行うための記録媒体制御インターフェース部（記録媒体制御I/F部）1011を有する。なお、記録媒体

10

20

30

40

50

1012は、光電変換システムに内蔵されていてもよく、着脱可能であってもよい。

【0081】

更に光電変換システムは、各種演算とデジタルスチルカメラ全体を制御する全体制御・演算部1009、撮像装置1004と信号処理部1007に各種タイミング信号を出力するタイミング発生部1008を有する。ここで、タイミング信号などは外部から入力されてもよく、光電変換システムは少なくとも撮像装置1004と、撮像装置1004から出力された出力信号を処理する信号処理部1007とを有すればよい。

【0082】

撮像装置1004は、撮像信号を信号処理部1007に出力する。信号処理部1007は、撮像装置1004から出力される撮像信号に対して所定の信号処理を実施し、画像データを出力する。信号処理部1007は、撮像信号を用いて、画像を生成する。

【0083】

このように、本実施形態によれば、上記のいずれかの実施形態の光電変換装置（撮像装置）を適用した光電変換システムを実現することができる。

【0084】

（第10の実施形態）

本実施形態の光電変換システム及び移動体について、図17を用いて説明する。図17は、本実施形態の光電変換システム及び移動体の構成を示す図である。

【0085】

図17（a）は、車載カメラに関する光電変換システムの一例を示したものである。光電変換システム1300は、撮像装置1310を有する。撮像装置1310は、上記のいずれかの実施形態に記載の光電変換装置である。光電変換システム1300は撮像装置1310により取得された複数の画像データに対し画像処理を行う画像処理部1312と、光電変換システム1300により取得された複数の画像データから視差（視差画像の位相差）の算出を行う視差取得部1314を有する。また、光電変換システム1300は、算出された視差に基づいて対象物までの距離を算出する距離取得部1316と、算出された距離に基づいて衝突可能性があるか否かを判定する衝突判定部1318と、を有する。ここで、視差取得部1314や距離取得部1316は、対象物までの距離情報を取得する距離情報取得手段の一例である。すなわち、距離情報とは、視差、デフォーカス量、対象物までの距離等に関する情報である。衝突判定部1318はこれらの距離情報のいずれかを用いて、衝突可能性を判定してもよい。距離情報取得手段は、専用に設計されたハードウェアによって実現されてもよいし、ソフトウェアモジュールによって実現されてもよい。また、FPGA（Field Programmable Gate Array）やASIC（Application Specific Integrated Circuit）等によって実現されてもよいし、これらの組合せによって実現されてもよい。光電変換システム1300は車両情報取得装置1320と接続されており、車速、ヨーレート、舵角などの車両情報を取得することができる。また、光電変換システム1300は、衝突判定部1318での判定結果に基づいて、車両に対して制動力を発生させる制御信号を出力する制御部である制御ECU1330が接続されている。また、光電変換システム1300は、衝突判定部1318での判定結果に基づいて、ドライバーへ警報を発する警報装置1340とも接続されている。例えば、衝突判定部1318の判定結果として衝突可能性が高い場合、制御ECU1330はブレーキをかける、アクセルを戻す、エンジン出力を抑制するなどして衝突を回避、被害を軽減する車両制御を行う。警報装置1340は音等の警報を鳴らす、カーナビゲーションシステムなどの画面に警報情報を表示する、シートベルトやステアリングに振動を与えるなどしてユーザーに警告を行う。

【0086】

本実施形態では、車両の周囲、例えば前方又は後方を光電変換システム1300で撮像する。図17（b）に、車両前方（撮像範囲1350）を撮像する場合の光電変換システムを示した。車両情報取得装置1320が、光電変換システム1300ないしは撮像装置1310に指示を送る。このような構成により、測距の精度をより向上させることができ

10

20

30

40

50

る。

【0087】

上記では、他の車両と衝突しないように制御する例を説明したが、他の車両に追従して自動運転する制御や、車線からはみ出さないように自動運転する制御などにも適用可能である。更に、光電変換システムは、自車両等の車両に限らず、例えば、船舶、航空機あるいは産業用ロボットなどの移動体（移動装置）に適用することができる。加えて、移動体に限らず、高度道路交通システム（ITS）等、広く物体認識を利用する機器に適用することができる。

【0088】

（第11の実施形態）

本実施形態の光電変換システムについて、図18を用いて説明する。図18は、本実施形態の光電変換システムである距離画像センサの構成例を示すブロック図である。

【0089】

図18に示すように、距離画像センサ401は、光学系407、光電変換装置408、画像処理回路404、モニタ405、およびメモリ406を備えて構成される。そして、距離画像センサ401は、光源装置409から被写体に向かって投光され、被写体の表面で反射された光（変調光やパルス光）を受光することにより、被写体までの距離に応じた距離画像を取得することができる。

【0090】

光学系407は、1枚または複数枚のレンズを有して構成され、被写体からの像光（入射光）を光電変換装置408に導き、光電変換装置408の受光面（センサ部）に結像させる。

【0091】

光電変換装置408としては、上述した各実施形態の光電変換装置が適用され、光電変換装置408から出力される受光信号から求められる距離を示す距離信号が画像処理回路404に供給される。

【0092】

画像処理回路404は、光電変換装置408から供給された距離信号に基づいて距離画像を構築する画像処理を行う。そして、その画像処理により得られた距離画像（画像データ）は、モニタ405に供給されて表示されたり、メモリ406に供給されて記憶（記録）されたりする。

【0093】

このように構成されている距離画像センサ401では、上述した光電変換装置を適用することで、画素の特性向上に伴って、例えば、より正確な距離画像を取得することができる。

【0094】

（第12の実施形態）

本実施形態の光電変換システムについて、図19を用いて説明する。図19は、本実施形態の光電変換システムである内視鏡手術システムの概略的な構成の一例を示す図である。

【0095】

図19では、術者（医師）1131が、内視鏡手術システム1150を用いて、患者ベッド1133上の患者1132に手術を行っている様子が図示されている。図示するように、内視鏡手術システム1150は、内視鏡1100と、術具1110と、内視鏡下手術のための各種の装置が搭載されたカート1134と、から構成される。

【0096】

内視鏡1100は、先端から所定の長さの領域が患者1132の体腔内に挿入される鏡筒1101と、鏡筒1101の基端に接続されるカメラヘッド1102と、から構成される。図示する例では、硬性の鏡筒1101を有するいわゆる硬性鏡として構成される内視鏡1100を図示しているが、内視鏡1100は、軟性の鏡筒を有するいわゆる軟性鏡と

10

20

30

40

50

して構成されてもよい。

【0097】

鏡筒1101の先端には、対物レンズが嵌め込まれた開口部が設けられている。内視鏡1100には光源装置1203が接続されており、光源装置1203によって生成された光が、鏡筒1101の内部に延設されるライトガイドによって当該鏡筒の先端まで導光され、対物レンズを介して患者1132の体腔内の観察対象に向かって照射される。なお、内視鏡1100は、直視鏡であってもよいし、斜視鏡又は側視鏡であってもよい。

【0098】

カメラヘッド1102の内部には光学系及び光電変換装置が設けられており、観察対象からの反射光（観察光）は当該光学系によって当該光電変換装置に集光される。当該光電変換装置によって観察光が光電変換され、観察光に対応する電気信号、すなわち観察像に対応する画像信号が生成される。当該光電変換装置としては、前述の各実施形態に記載の光電変換装置を用いることができる。当該画像信号は、RAWデータとしてカメラコントロールユニット（CCU：Camera Control Unit）1135に送信される。

10

【0099】

CCU1135は、CPU（Central Processing Unit）やGPU（Graphics Processing Unit）等によって構成され、内視鏡1100及び表示装置1136の動作を統括的に制御する。さらに、CCU1135は、カメラヘッド1102から画像信号を受け取り、その画像信号に対して、例えば現像処理（デモザイク処理）等の、当該画像信号に基づく画像を表示するための各種の画像処理を施す。

20

【0100】

表示装置1136は、CCU1135からの制御により、当該CCU1135によって画像処理が施された画像信号に基づく画像を表示する。

【0101】

光源装置1203は、例えばLED（Light Emitting Diode）等の光源から構成され、術部等を撮影する際の照射光を内視鏡1100に供給する。

【0102】

入力装置1137は、内視鏡手術システム1150に対する入力インターフェースである。ユーザーは、入力装置1137を介して、内視鏡手術システム1150に対して各種の情報の入力や指示入力を行うことができる。

30

【0103】

処置具制御装置1138は、組織の焼灼、切開又は血管の封止等のためのエネルギー処置具1112の駆動を制御する。

【0104】

内視鏡1100に術部を撮影する際の照射光を供給する光源装置1203は、例えばLED、レーザ光源又はこれらの組み合わせによって構成される白色光源から構成することができる。RGBレーザ光源の組み合わせにより白色光源が構成される場合には、各色（各波長）の出力強度及び出力タイミングを高精度に制御することができるため、光源装置1203において撮像画像のホワイトバランスの調整を行うことができる。また、この場合には、RGBレーザ光源それぞれからのレーザ光を時分割で観察対象に照射し、その照射タイミングに同期してカメラヘッド1102の撮像素子の駆動を制御することにより、RGBそれぞれに対応した画像を時分割で撮像することも可能である。当該方法によれば、当該撮像素子にカラーフィルタを設けなくても、カラー画像を得ることができる。

40

【0105】

また、光源装置1203は、出力する光の強度を所定の時間ごとに変更するようにその駆動が制御されてもよい。その光の強度の変更のタイミングに同期してカメラヘッド1102の撮像素子の駆動を制御して時分割で画像を取得し、その画像を合成することにより、いわゆる黒つぶれ及び白とびのない高ダイナミックレンジの画像を生成することができ

50

る。

【0106】

また、光源装置1203は、特殊光観察に対応した所定の波長帯域の光を供給可能に構成されてもよい。特殊光観察では、例えば、体組織における光の吸収の波長依存性を利用する。具体的には、通常の観察時における照射光（すなわち、白色光）に比べて狭帯域の光を照射することにより、粘膜表層の血管等の所定の組織を高コントラストで撮影する。あるいは、特殊光観察では、励起光を照射することにより発生する蛍光により画像を得る蛍光観察が行われてもよい。蛍光観察では、体組織に励起光を照射し当該体組織からの蛍光を観察すること、又はインドシアニンググリーン（ICG）等の試薬を体組織に局注するとともに当該体組織にその試薬の蛍光波長に対応した励起光を照射し蛍光像を得ること等を行うことができる。光源装置1203は、このような特殊光観察に対応した狭帯域光及び／又は励起光を供給可能に構成され得る。

10

【0107】

（第13の実施形態）

本実施形態の光電変換システムについて、図20（a）、（b）を用いて説明する。図20（a）は、本実施形態の光電変換システムである眼鏡1600（スマートグラス）を説明する。眼鏡1600には、光電変換装置1602を有する。光電変換装置1602は、上記の各実施形態に記載の光電変換装置である。また、レンズ1601の裏面側には、OLEDやLED等の発光装置を含む表示装置が設けられていてもよい。光電変換装置1602は1つでもよいし、複数でもよい。また、複数種類の光電変換装置を組み合わせてもよい。光電変換装置1602の配置位置は図20（a）に限定されない。

20

【0108】

眼鏡1600は、制御装置1603をさらに備える。制御装置1603は、光電変換装置1602と上記の表示装置に電力を供給する電源として機能する。また、制御装置1603は、光電変換装置1602と表示装置の動作を制御する。レンズ1601には、光電変換装置1602に光を集光するための光学系が形成されている。

【0109】

図20（b）は、1つの適用例に係る眼鏡1610（スマートグラス）を説明する。眼鏡1610は、制御装置1612を有しており、制御装置1612に、光電変換装置1602に相当する光電変換装置と、表示装置が搭載される。レンズ1611には、制御装置1612内の光電変換装置と、表示装置からの発光を投影するための光学系が形成されており、レンズ1611には画像が投影される。制御装置1612は、光電変換装置および表示装置に電力を供給する電源として機能するとともに、光電変換装置および表示装置の動作を制御する。制御装置は、装着者の視線を検知する視線検知部を有してもよい。視線の検知は赤外線を用いてよい。赤外発光部は、表示画像を注視しているユーザーの眼球に対して、赤外光を発する。発せられた赤外光の眼球からの反射光を、受光素子を有する撮像部が検出することで眼球の撮像画像が得られる。平面視における赤外発光部から表示部への光を低減する低減手段を有することで、画像品位の低下を低減する。

30

【0110】

赤外光の撮像により得られた眼球の撮像画像から表示画像に対するユーザーの視線を検出する。眼球の撮像画像を用いた視線検出には任意の公知の手法が適用できる。一例として、角膜での照射光の反射によるプルキニエ像に基づく視線検出方法を用いることができる。

40

【0111】

より具体的には、瞳孔角膜反射法に基づく視線検出処理が行われる。瞳孔角膜反射法を用いて、眼球の撮像画像に含まれる瞳孔の像とプルキニエ像とに基づいて、眼球の向き（回転角度）を表す視線ベクトルが算出されることにより、ユーザーの視線が検出される。

【0112】

本実施形態の表示装置は、受光素子を有する光電変換装置を有し、光電変換装置からのユーザーの視線情報に基づいて表示装置の表示画像を制御してよい。

50

【0113】

具体的には、表示装置は、視線情報に基づいて、ユーザーが注視する第1の視界領域と、第1の視界領域以外の第2の視界領域とを決定される。第1の視界領域、第2の視界領域は、表示装置の制御装置が決定してもよいし、外部の制御装置が決定したものを受信してもよい。表示装置の表示領域において、第1の視界領域の表示解像度を第2の視界領域の表示解像度よりも高く制御してよい。つまり、第2の視界領域の解像度を第1の視界領域よりも低くしてよい。

【0114】

また、表示領域は、第1の表示領域、第1の表示領域とは異なる第2の表示領域とを有し、視線情報に基づいて、第1の表示領域および第2の表示領域から優先度が高い領域を決定されてよい。第1の視界領域、第2の視界領域は、表示装置の制御装置が決定してもよいし、外部の制御装置が決定したものを受信してもよい。優先度の高い領域の解像度を、優先度が高い領域以外の領域の解像度よりも高く制御してよい。つまり優先度が相対的に低い領域の解像度を低くしてよい。

10

【0115】

なお、第1の視界領域や優先度が高い領域の決定には、AIを用いてもよい。AIは、眼球の画像と当該画像の眼球が実際に視ていた方向とを教師データとして、眼球の画像から視線の角度、視線の先の目的物までの距離を推定するよう構成されたモデルであってよい。AIプログラムは、表示装置が有しても、光電変換装置が有しても、外部装置が有してもよい。外部装置が有する場合は、通信を介して、表示装置に伝えられる。

20

【0116】

視認検知に基づいて表示制御する場合、外部を撮像する光電変換装置を更に有するスマートグラスに好ましく適用できる。スマートグラスは、撮像した外部情報をリアルタイムで表示することができる。

【0117】

〔変形実施形態〕

本発明は、上記実施形態に限らず種々の変形が可能である。

【0118】

例えば、いずれかの実施形態の一部の構成を他の実施形態に追加した例や、他の実施形態の一部の構成と置換した例も、本発明の実施形態に含まれる。

30

【0119】

また、上記第5の実施形態、第6の実施形態に示した光電変換システムは、光電変換装置を適用しうる光電変換システム例を示したものであって、本発明の光電変換装置を適用可能な光電変換システムは図15乃至図19に示した構成に限定されるものではない。第7の実施形態に示したToFシステム、第8の実施形態に示した内視鏡、第9の実施形態に示したスマートグラスについても同様である。

【0120】

なお、上記実施形態は、いずれも本発明を実施するにあたっての具体化の例を示したものに過ぎず、これらによって本発明の技術的範囲が限定的に解釈されてはならないものである。すなわち、本発明はその技術思想、又はその主要な特徴から逸脱することなく、様々な形で実施することができる。

40

【0121】

なお、本開示は以下の構成を備える。

【0122】

(構成1)

第1材料で構成され、アバランシェフォトダイオードを有する半導体基板と、前記第1材料よりもバンドギャップが小さい第2材料で構成される光電変換層とを有する。さらに前記半導体基板と前記光電変換層とに接し、少なくとも前記第1材料または前記第2材料の元素を含む第3材料で構成される領域を有する。上面視において、前記領域の面積は前記光電変換層の面積よりも小さいことを特徴とする光電変換装置。

50

【0123】

(構成2)

前記第3材料と前記第1材料とが同じことを特徴とする構成1に記載の光電変換装置。

【0124】

(構成3)

前記第3材料と前記第2材料とが同じことを特徴とする構成1に記載の光電変換装置。

【0125】

(構成4)

前記第1材料はシリコンであり、前記第2材料はゲルマニウムを含むことを特徴とする構成1～3のいずれかに記載の光電変換装置。

10

【0126】

(構成5)

前記第2材料はゲルマニウムであることを特徴とする構成4に記載の光電変換装置。

【0127】

(構成6)

前記第1材料はシリコンであり、前記第2材料はインジウムガリウムヒ素であることを特徴とする構成1～3のいずれかに記載の光電変換装置。

【0128】

(構成7)

上面視において、前記領域は、前記アバランシェフォトダイオードのアバランシェ増倍領域と重なることを特徴とする構成1～6のいずれかに記載の光電変換装置。

20

【0129】

(構成8)

前記アバランシェフォトダイオードは、第1導電型の第1の半導体領域と、第2導電型の第2の半導体領域と、を有し、前記光電変換層は、第3の半導体領域を有する。前記第1の半導体領域と、前記第2の半導体領域と、前記第3の半導体領域と、のそれぞれに電圧が印加されることを特徴とする構成1～7のいずれかに記載の光電変換装置。

【0130】

(構成9)

上面視において、前記第3の半導体領域に重なって透明電極が配置されることを特徴とする構成8に記載の光電変換装置。

30

【0131】

(構成10)

前記領域は、前記半導体基板の前記光電変換層に対向する面から前記半導体基板内に延伸されることを特徴とする構成1～9のいずれかに記載の光電変換装置。

【0132】

(構成11)

第1のアバランシェフォトダイオードと、第2のアバランシェフォトダイオードと、を有し、前記第1のアバランシェフォトダイオードと、前記第2のアバランシェフォトダイオードと、の間には分離部が設けられる。前記分離部の直上に、前記第1のアバランシェフォトダイオードに電圧を供給するコンタクトが配置されることを特徴とする構成1～10のいずれかに記載の光電変換装置。

40

【0133】

(構成12)

第1のアバランシェフォトダイオードと、第1の光電変換層と、を有する第1の画素と、第2のアバランシェフォトダイオードと、第2の光電変換層と、を有する第2の画素と、が隣接して設けられる。前記第1の画素と前記第2の画素との間に形成される遮光部は、前記第1の光電変換層の下部に接触し、電位を供給することを特徴とする構成1～11のいずれかに記載の光電変換装置。

【0134】

50

(構成 13)

第1のアバランシェフォトダイオードと、第1の光電変換層と、を有する第1の画素と、第2のアバランシェフォトダイオードと、第2の光電変換層と、を有する第2の画素と、が隣接して設けられる。前記第1の画素と前記第2の画素との間に形成される遮光部は、前記第1の光電変換層の上部に接触し、電位を供給することの特徴とする構成1～12のいずれかに記載の光電変換装置。

【0135】

(構成 14)

断面視において、前記半導体基板の厚さは前記光電変換層の厚さよりも小さいことを特徴とする構成1～13のいずれかに記載の光電変換装置。

10

【0136】

(構成 15)

前記半導体基板と前記領域との接合部以外の場所にピニング膜が形成されることを特徴とする請求項1～14のいずれかに記載の光電変換装置。

【0137】

(構成 16)

前記半導体基板の光入射面に散乱回折構造を備えることを特徴とする構成1～15のいずれかに記載の光電変換装置。

【0138】

(構成 17)

前記領域に散乱回折構造を備えることを特徴とする構成1～16のいずれかに記載の光電変換装置。

20

【0139】

(構成 18)

1つの前記光電変換層に対し、複数の前記領域を有することを特徴とする構成1～17のいずれかに記載の光電変換装置。

【0140】

(構成 19)

前記半導体基板に積層して配線層が設けられ、前記光電変換層は、前記半導体基板の前記配線層が積層された面の側に形成されることを特徴とする構成1～18のいずれかに記載の光電変換装置。

30

【0141】

(構成 20)

前記半導体基板に積層して配線層が設けられ、前記光電変換層は、前記半導体基板の前記配線層が積層された面に対向する面の側に形成されることを特徴とする構成1～18のいずれかに記載の光電変換装置。

【0142】

(構成 21)

構成1～20のいずれかに記載の光電変換装置と、前記光電変換装置が出力する信号を用いて画像を生成する信号処理部と、を有することを特徴とする光電変換システム。

40

【0143】

(構成 22)

構成1～20のいずれかに記載の光電変換装置を含み、前記光電変換装置が出力する信号を用いて前記移動体の移動を制御する制御部を有することを特徴とする移動体。

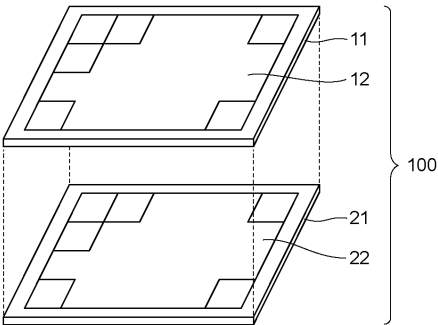
【符号の説明】

【0144】

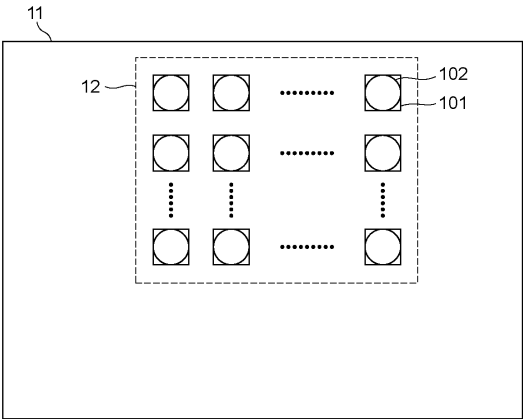
- 300 半導体基板
- 301 光電変換層
- 322 柱状構造

50

【図面】
【図 1】



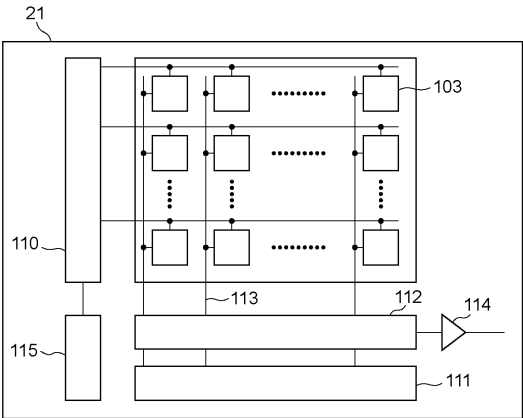
【図 2】



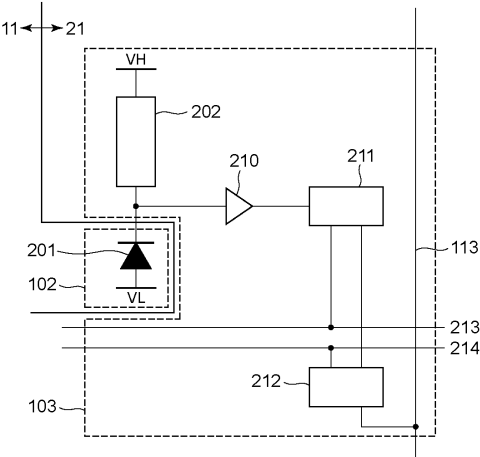
10

20

【図 3】



【図 4】

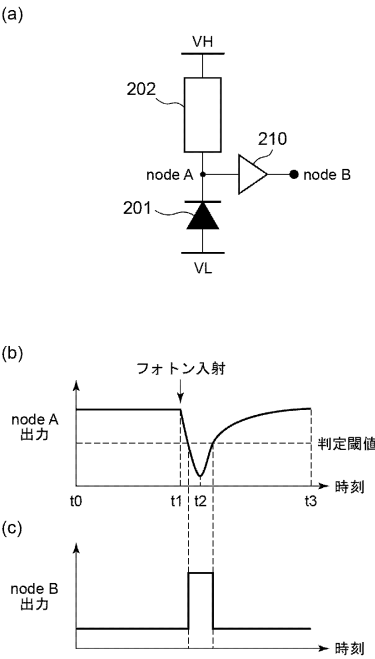


30

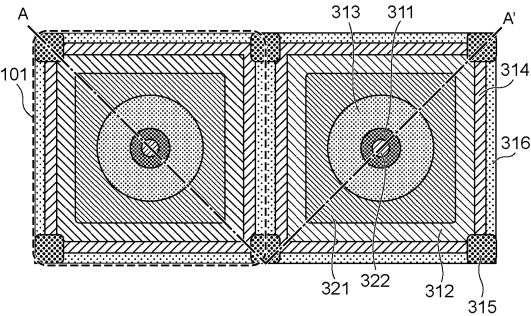
40

50

【図 5】



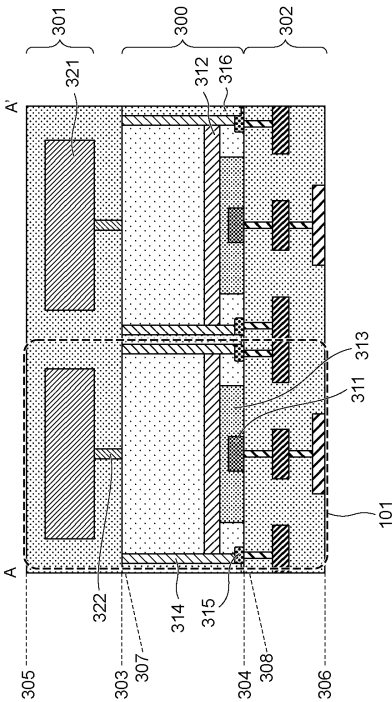
【図 6】



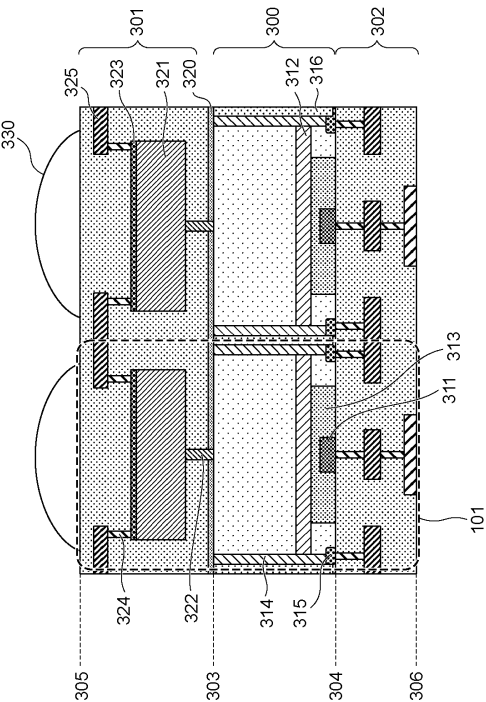
10

20

【図 7】



【図 8】

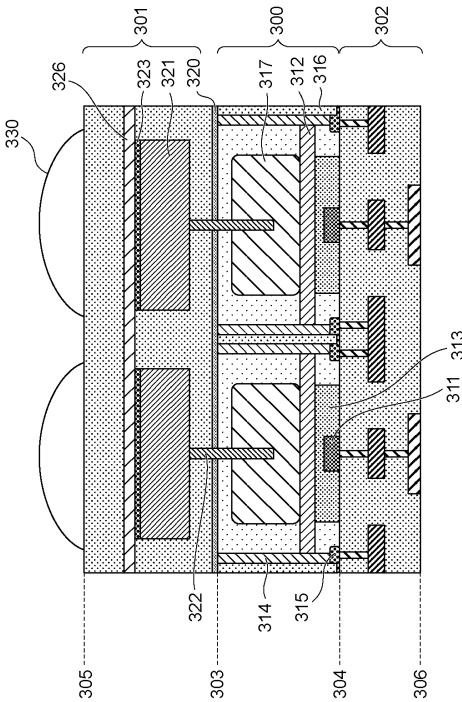


30

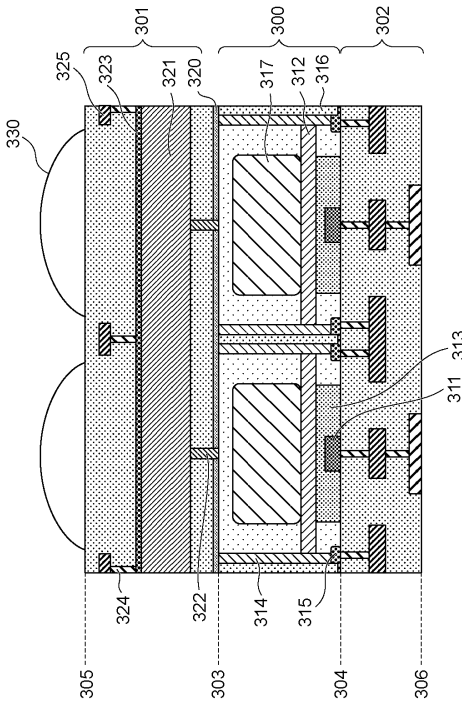
40

50

【図 9】



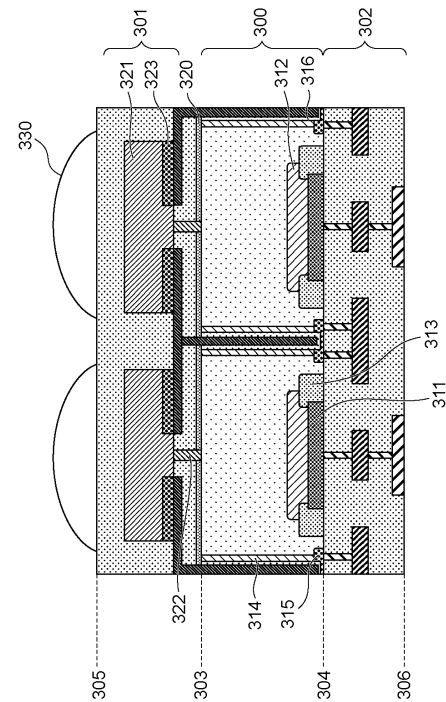
【図 10】



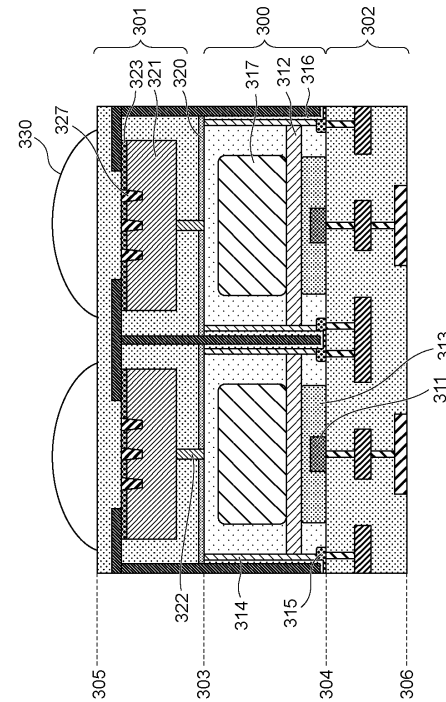
10

20

【図 11】



【図 12】

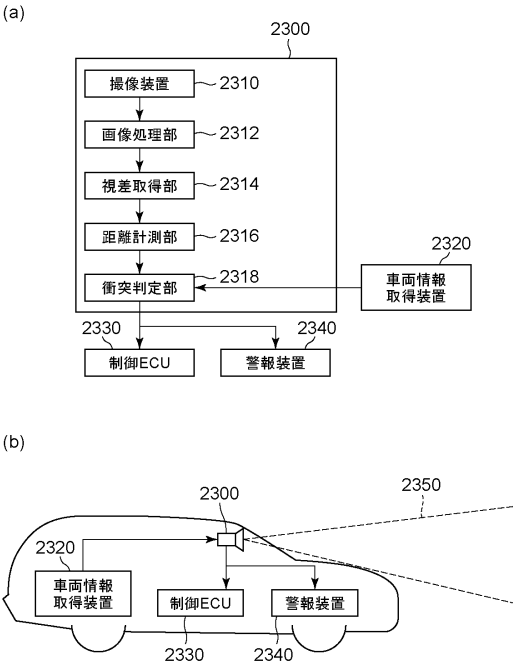


30

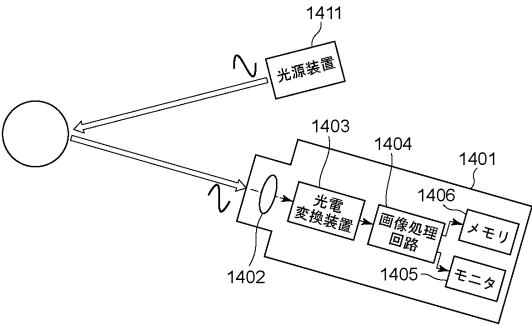
40

50

【図 1 7】



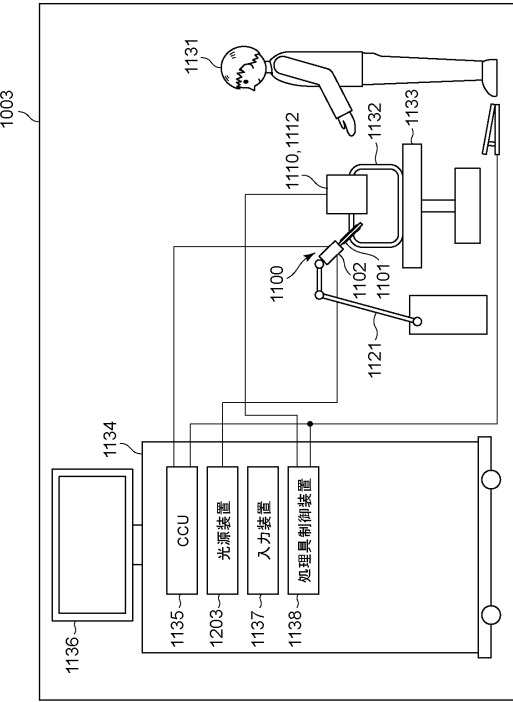
【図 1 8】



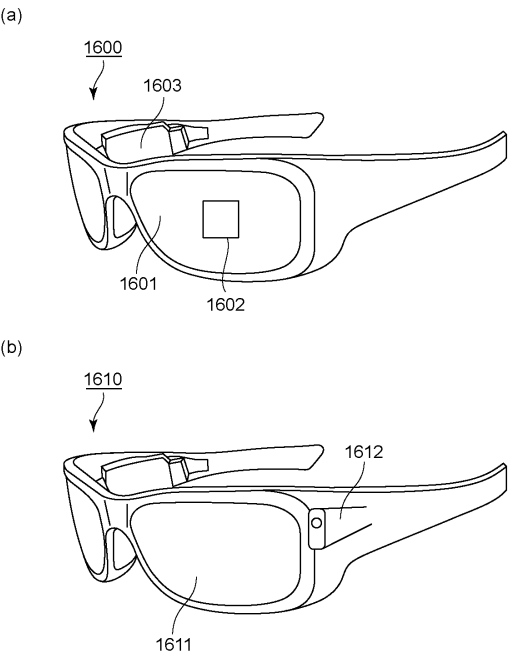
10

20

【図 1 9】



【図 2 0】



30

40

50

フロントページの続き

ヤノン株式会社内
(72)発明者 森本 和浩
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
(72)発明者 関根 寛
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
Fターム(参考) 4M118 AA05 AB01 AB03 BA19 CA03 CA22 CA25 CB01 DD09 FA06
FA08 FA26 FA27 GA02 GD03 GD04 HA22 HA25
5F149 AA08 AB03 AB07 BA04 BA17 BB03 BB07 BB08 CB11 DA24
EA03 EA04 EA06 FA02 FA05 GA04 HA10 HA20 KA14 KA20 LA01
XB15 XB18 XB38